

## تعیین دماهای کاردینال جوانه‌زنی علف‌هرز مهاجم فرفیون خوابیده (*Euphorbia maculata*) مدل هیدروتایم جوانه‌زنی

شایسته صالحی<sup>۱</sup>، مرجان دیانت<sup>۲\*</sup>، قربان نورمحمدی<sup>۳</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم باغی و زراعی، دانشکده کشاورزی و صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
  ۲. استادیار گروه علوم باغی و زراعی، دانشکده کشاورزی و صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
  ۳. استاد، گروه علوم باغی و زراعی، دانشکده کشاورزی و صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
- (تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۸/۱۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۲/۰۶)

### چکیده

به منظور بررسی مولفه‌های جوانه‌زنی و تعیین دماهای کاردینال جوانه‌زنی بذر علف‌هرز مهاجم فرفیون خوابیده، بذور در دماهای ثابت ۲ تا ۴۵ درجه سانتی‌گراد در قالب طرح کاملاً تصادفی و با ۴ تکرار در دانشگاه آزاد اسلامی - واحد علوم و تحقیقات در سال ۱۳۹۶ مورد بررسی قرار گرفتند. بذر فرفیون خوابیده در دماهای ۲، ۵، ۱۰، و ۴۵ درجه سانتی‌گراد جوانه نزد و بهترین دما برای جوانه‌زنی بذر، دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد (۹۱ درصد) بود. جهت تخمین دماهای کاردینال ۳ مدل دو تکه‌ای، دندان‌مانند، چندجمله‌ای درجه ۲ مورد استفاده قرار گرفتند. با توجه به ضریب تبیین و جذر میانگین مربعات خطا، بهترین مدل جهت تعیین دماهای کاردینال جوانه‌زنی بذر فرفیون خوابیده، مدل خطوط مقاطع بود. دماهای کمیته، بهینه و بیشینه برآورد شده توسط این مدل به ترتیب ۹/۸۰، ۲۸/۳۳ و ۴۳/۱۶ درجه سانتی‌گراد بودند. برای بررسی اثر پتانسیل آب بر جوانه‌زنی در دمای بهینه ۲۸ درجه سانتی‌گراد بذور در معرض پتانسیل‌های اسمزی (۰، -۰/۲، -۰/۴، -۰/۶، و -۰/۸ مگاپاسکال) قرار گرفتند. بر اساس مدل سیگموئیدی سه پارامتره مقدار  $x_{50}$  برای سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه، طول گیاهچه و وزن تر ریشه‌چه به ترتیب ۰/۵۳، -۰/۴۸، ۰-، -۰/۵۱، ۰-، -۰/۴۸ و -۰/۵۲ مگاپاسکال بود. ثابت هیدروتایم و پتانسیل آب پایه (آستانه پتانسیل آب برای شروع جوانه‌زنی) بذرفرفیون خوابیده در دمای ۲۸ درجه سانتی‌گراد به ترتیب ۲۹۱/۳۲ مگاپاسکال ساعت و -۱/۲۰ مگاپاسکال بر اساس مدل هیدروتایم بر مبنای توزیع نرمال برآورد شد. بدین ترتیب این علف‌هرز پتانسیل زیادی برای پراکنش به سایر مناطق از جمله استان‌های دارای اقلیم خشک‌تر نسبت به گلستان را دارا خواهد بود و اقدامات لازم در جهت جلوگیری از پراکنش آن ضروری می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: پتانسیل آب، دماهای کاردینال، سرعت جوانه‌زنی، مدل هیدروتایم.

## Determination of cardinal temperature and evaluation of phonological stages of medicinal plant, broadleaf plantain (*Plantago major L.*)

Sh. Salehi<sup>1</sup>, M. Diyanat<sup>2\*</sup>, Gh. Noormohammadi<sup>3</sup>

1. M.Sc Student, Department of Agriculture and Food Industry, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
2. Assistant professor, Department of Agriculture and Food Industry, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
3. Professor, Department of Agriculture and Food Industry, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

(Received: Nov. 05, 2018 – Accepted: Feb. 25, 2019)

### Abstract

In order to quantify the germination characteristics and determine the cardinal temperature of germination of *Euphorbia maculata*, seeds were placed at constant temperatures (2- 45°C) in Randomized Complete Design with four replications at Science Research Branch, Islamic Azad University in 2018. Seed of *E. maculata* had no germination at temperatures of 2, 5, 10 and 45°C, and the temperature of 30° C was the best temperature for germination seeds (91% Germination percentage). Three models of intersected-line, dent-like segmented and quadratic polynomials were used to estimate the cardinal temperatures. The best model for estimating the cardinal temperatures in *E. maculata* was intersected-line model with respect to coefficient of determination and mean square error. According to the intersected-line the minimum, optimum and maximum temperatures were calculated 9.8, 28.33 and 43.16°C. In order to investigate water potential on germination percentage, seeds treated with water potentials (0, -0.2, -0.4, -0.6 and -0.8 MPa) at optimum temperature of 28°C. Based on the three-parameter sigmoid method, the value of  $x_{50}$  for speed, root length, stem length, seedling fresh weight and dry weight were estimated to be -0.53, -0.48, -0.51, -0.48, -0.52 Mpa respectively. According to the hydro-time model based on normal distribution, the hydro-time constant and the base-water potential (which is a threshold for germination beginning) of *E. maculata* degree were 291.32 (MPa/h) and -1.2 (MPa) at 28°C, respectively. Thus, this weed species has a great potential for distribution to other areas such as provinces with a dryer climate than Golestan, and the necessary measures to prevent its distribution is necessary.

**Key words:** Cardinal temperatures, Germination rate, Hydro-time model, Water potential

\* Email: m.diyanat@srbiau.ac.ir

پیش‌بینی زمان جوانه‌زنی است (Kamkar *et al.*, 2011). دامنه دمایی برای جوانه زنی توسط دماهای پایه، بهینه و بیشینه تعریف می‌شود. سرعت نمو بین دماهای پایه و بهینه افزایش می‌یابد، بین دماهای بهینه و بیشینه کاهش یافته و فراتر از دمای بیشینه و کمتر از دمای پایه متوقف می‌شود (Shafii and Price, 2001). انواعی از توابع ریاضی برای شرح رابطه بین سرعت جوانه زنی و دما استفاده شده است. توابع دمایی مختلفی برای توصیف واکنش جوانه زنی به دما وجود دارد که از میان آن‌ها سه تابع خطوط متقاطع<sup>۱</sup>، بتا<sup>۲</sup> و دندان مانند<sup>۳</sup> برای بررسی واکنش جوانه زنی بذرها به دما بیشتر از بقیه مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Akram-Ghaderi, 2008). امتیاز این توابع این است که پارامترهای این مدل‌ها دارای مفهوم زیستی مانند دماهای کاردینال، سرعت ذاتی جوانه‌زنی و رویش هستند. بنابراین، برخی از محققین از این مدل‌ها برای به دست آوردن دماهای کاردینال یعنی دمای پایه، دمای بهینه و دمای بیشینه استفاده کرده‌اند (Jame and Cutforth, 2006; Hardegee, 2004). کامکار و همکاران (Kamkar *et al.*, 2011) در مطالعه خشخاش (*Papaver somniferum L.*) با استفاده از مدل‌های رگرسیون غیرخطی مدل خطوط متقاطع را به عنوان مدل برتر در پیش‌بینی سرعت جوانه‌زنی معرفی کردند. برای به دست آوردن دماهای مهم جوانه‌زنی ماریتیغال (*marianum Silybum*) از هشت مدل رگرسیونی غیرخطی استفاده شد که مدل خطوط متقاطع برازش بهتری داشت (Dorri *et al.*, 2014) در پژوهشی دیگر برای توصیف واکنش سرعت جوانه‌زنی کلزای خودرو (*Brassica napus*) تحت تأثیر دما و پتانسیل آب از تابع خطوط متقاطع استفاده شد (Soltani *et al.*, 2014). برای توصیف سرعت جوانه زنی در برابر دما و پتانسیل آب از مدل‌های دندان مانند، خطوط متقاطع، بتا (اصلی)، بتا

## مقدمه

در حال حاضر استان گلستان با در دست داشتن ۳۷ درصد سطح زیر کشت، ۶۵ درصد سویای ایران را تامین می‌کند که تولید سالانه آن بین ۱۰۰ تا ۱۴۰ هزار تن می‌باشد طی بررسی‌هایی که در سال‌های ۱۳۸۶-۱۳۸۸ از مزارع سویای استان به عمل آمد مشخص گردید که مزارع توسط گونه‌هایی مانند خربزه وحشی (*Cucumis melo. var agrestic*)، نیلوفر پیچ (*Ipomoea spp.*) و دو گونه‌ی فریون (*Euphorbia heterophylla* و *E. maculata*) مورد هجوم قرار گرفته‌اند. این گیاهان هرز در سال‌های قبل جزء فلور علف‌های هرز این مزارع نبوده‌اند و به تازگی به آن اضافه شده و تقریباً به طور گسترده در اکثر مزارع سویای استان گلستان انتشار یافته‌اند (Younesabadi and Savarinejad, 2009). فریون خوابیده از خانواده *Euphorbiaceae* یک ساله بوده و تنها یک بوته‌ی آن قادر است چندین هزار بذر تولید کند. این علف‌هرز در اوایل فصل حالت خوابیده (رزت) دارد، ولی بعد از رشد کامل سویا رشد عمودی خود را شروع می‌کند بطوریکه کاملاً سویا را پوشانیده و حالت متراکم و افراشته پیدا می‌کند. در هنگام برداشت محصول با کمباین، گیاه سبز بوده و برداشت را با مشکل روبرو می‌سازد از آن جای که گیاه دارای شیرابه سفید رنگی نیز می‌باشد، در هنگام برداشت باعث بالا رفتن رطوبت بذر و کاهش کیفیت آن نیز می‌گردد (Savarinejad, 2009).

جوانه زنی بذر یک مرحله کلیدی در تعیین موفقیت گونه‌های علف‌هرز در بوم نظام‌های زراعی است. جهت بهبود روش‌های مدیریتی علف‌های هرز داشتن اطلاعات راجع به زیست‌شناسی بسیار ضروری خواهد بود (Mennan and Ngouajio, 2006). دما مهمترین عاملی است که سرعت نمو گیاهان و علف‌های هرز (از جمله سرعت جوانه‌زنی) را تحت تأثیر قرار می‌دهد. اثرات دما روی نمو گیاهان اساس مدل‌های مورد استفاده برای

<sup>1</sup> Intersected-lines Model

<sup>2</sup> Five-Parameters Beta Model

<sup>3</sup> Dent-like Model

که از این قبیل تحقیقات می‌توان به استفاده از مدل هیدروتایم جهت پیش‌بینی جوانه‌زنی بذر الیموس (*Elymus trachycaulus*) تحت شرایط رطوبتی و دماهای مختلف (Schellenberg *et al.*, 2013) و کاربرد مدل هیدروتایم برای تحلیل جوانه‌زنی چندین گونه متفاوت تحت شرایط رطوبتی و دمایی مختلف (Huarte, 2006) اشاره کرد.

علف‌هرز فریون خوابیده حدود ۵ سال پیش ابتدا در غرب استان گلستان ظاهر شد، اما به تدریج شدت آلودگی و وسعت آن افزایش یافت و تا مرز نواحی شرقی استان مثل آزادشهر نیز گسترش پیدا کرد و اکنون جزء علف‌های هرز مهم و مشکل‌ساز در مزارع سویای این استان محسوب می‌شود. اطلاعات جامع زیستی و اکولوژی در مورد جوانه‌زنی این علف‌هرز برای تاثیرگذاری بیشتر برنامه‌های مدیریتی مناسب، ضروری می‌باشد. اهداف اصلی از این پژوهش تعیین دماهای کاردینال جوانه‌زنی با استفاده از مدل‌های رگرسیونی مختلف و مقایسه مدل‌ها با یکدیگر و تعیین پتانسیل آب پایه جوانه‌زنی با استفاده از مدل هیدروتایم بر مبنای توزیع نرمال بود.

## مواد و روش‌ها

### آزمایش اول

آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی و با ۴ تکرار در دانشگاه آزاد اسلامی - واحد علوم و تحقیقات، آزمایشگاه اکولوژی در بهمن‌ماه سال ۱۳۹۶ انجام شد. پیش از شروع آزمایش بذرها با استفاده از محلول ۱ درصد هیپوکلریت سدیم به مدت ۵ دقیقه ضدعفونی شدند و سپس چند بار با آب مقطر شستشو شدند. بذور به پتری دیش‌های یک بار مصرف استریل که کف آنها کاغذ صافی واتمن شماره یک بود منتقل شدند. برای شکستن خواب بذور از محلول جیبرلیک اسید با غلظت ۵۰۰ پی‌پی‌ام به مدت ۳۰ دقیقه استفاده شد. قطر پتری دیش‌ها ۹ سانتی‌متر بود و در هر پتری دیش ۲۵ بذور قرار گرفت. پتری دیش‌ها در ژرminatور در دماهای ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵، ۴۰ و ۴۵ درجه

(تغییر یافته) استفاده شد و نتایج نشان داد مدل دندان مانند نسبت به مدل‌های دیگر واکنش سرعت جوانه‌زنی به دما و پتانسیل آب را بهتر توصیف می‌کند (Nozari-Nejad *et al.*, 2013).

پتانسیل آب در محیط موثرترین پارامتر در جذب آب و آماس بذر است و تنش خشکی جذب آب را کاهش می‌دهد. رشد جنین با جذب آب آغاز می‌شود بنابراین الگوی زمانی جوانه‌زنی بذر به شدت توسط پتانسیل آب خاک (ψ) محیط جوانه‌زنی تنظیم می‌شود به طوری که پتانسیل آب بستر جوانه‌زنی تعیین کننده موازنه محتوای آب بذر خواهد بود (Daws *et al.*, 2008). دما و پتانسیل آب دو عامل زیست محیطی اولیه تنظیم کننده جوانه‌زنی بذر می‌باشند (Bewley *et al.*, 2013). جهت کمی سازی واکنش جوانه‌زنی بذر به عوامل محیطی از مدل‌های مختلفی استفاده شده است که این مدل‌های جوانه‌زنی به چند گروه تقسیم می‌شوند به طوری که اگر فقط از دما استفاده شود، مدل ترمال تایم و اگر از رطوبت استفاده شود، مدل را هیدروتایم می‌گویند (Bradford, 2002; Forcella *et al.*, 2000). گزارش شده که بذور غریلک (*Lamium amplexicaule* L.) در پتانسیل اسمزی کمتر از ۰/۵۲ - مگاپاسکال در دمای ۲۷ درجه سانتی‌گراد قادر به جوانه‌زنی نیستند (Tamado *et al.*, 2002). انصاری و همکاران (Ansari *et al.*, 2017) پتانسیل پایه پنی‌رک (*sylvestris* L. *Malva*)، در دماهای ۱۵ و ۲۰ درجه سانتی‌گراد به ترتیب ۱/۱۳- و ۱/۱۱- مگاپاسکال برآورد کردند. درخشان و همکاران (Derakhshan *et al.*, 2016) تجزیه هیدروتایم جوانه‌زنی بذر شاه‌افسر (*Melilotus officinalis lam* L.)، خردل وحشی (*Sinapis arvensis* L.) و جو (*Hordeum vulgare* L.) را با استفاده از دوازده تابع آماری نرمال، بتا، گاما، لوگ لجستیک، و بیول، گامبل، بیرن‌سام‌ساندرز، نرمال معکوس، لوگ نرمال، لجستیک، ریلی و گاما معکوس انجام دادند. بسیاری از محققین از مدل هیدروتایم جهت کمی‌سازی واکنش جوانه‌زنی بذرها به شرایط تنش رطوبتی استفاده کرده‌اند

$$f(t) = \frac{(T - T_b)}{T_{01} - T_b} \quad T_b < T \leq T_{01} \quad \text{معادله (۴)}$$

$$f(t) = \frac{(T_c - T)}{(T_c - T_{02})} \quad T_{02} < T \leq T_c$$

$$F(t) = 1 \quad T_{01} < T \leq T_{02}$$

$$F(t) = 0 \quad T_c < T \text{ or } T \geq T_c$$

۳- مدل چند جمله‌ای درجه ۲ با استفاده از معادله ۵ برازش داده شد (Soltani et al., 2006).

$$cT^2 + f = a + bT \quad \text{معادله (۵)}$$

$$T_0 = b + 2cT$$

در تمامی معادلات ذکر شده f: سرعت جوانه زنی،  $T_0$ ،  $T_b$  و  $T_m$  به ترتیب دماهای پایه، مطلوب و بیشینه و همچنین a، b و c به عنوان ضرایب رگرسیون در نظر گرفته شدند. برای اعتبار سنجی مدل از جذر میانگین مربعات خطا و ضریب تبیین (معادله ۶) استفاده شد.

$$R2_{adj} = 1 - \frac{\sum(O_i - P_i)^2}{\sum(O_i - \bar{O})^2} \quad \text{معادله (۶)}$$

که در این معادله  $O_i$  و  $P_i$  به ترتیب مقادیر اندازه گیری شده و پیش‌بینی شده و  $\bar{O}$  میانگین مشاهدات می‌باشد.

### آزمایش دوم

برای بررسی اثر پتانسیل آب بر جوانه‌زنی در دمای بهینه ۲۸ درجه سانتی‌گراد بذور در معرض پتانسیل‌های اسمزی (۰، -۰/۲، -۰/۴، -۰/۶ و -۰/۸ مگاپاسکال) قرار گرفتند و بعد از یک هفته میزان جوانه زنی و مولفه‌های دیگر، طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه و وزن تر گیاهچه، اندازه‌گیری شدند. در ادامه به منظور ارزیابی پتانسیل سطوح مختلف تنش خشکی در کاهش صفات مورد بررسی از مدل سیگموئید سه پارامتری (معادله ۷) با کمک نرم‌افزار SigmaPlot 11.0 استفاده شد (Chauhan et al., 2006 و Chachalis and Reddy, 2000).

$$y = a / (1 + \exp(-(x - x_{50})/b)) \quad \text{معادله (۷)}$$

که در آن Y: صفت مورد بررسی در سطوح مختلف

سانتی‌گراد با ۱۲ ساعت روشنایی و ۱۲ ساعت تاریکی با رطوبت نسبی ۶۵ درصد قرار گرفتند. شمارش بذور جوانه زده پس از گذشت ۲۴ ساعت از شروع آزمایش هر روز انجام شد تا زمانیکه تعداد تجمعی بذور جوانه زده به یک حد ثابت رسید. مبنای جوانه زنی بذور، خروج ریشه‌چه از پوسته بذور و رویت آن با چشم غیر مسلح بود (Jeffrey et al., 1987). برای محاسبه درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی از معادله‌های زیر (Alam et al., 2014) استفاده شد.

$$GP = 100 \times \left( \frac{N_i}{S} \right) \quad \text{معادله (۱)}$$

$$GR = \sum \frac{N_i}{T_i} \quad \text{معادله (۲)}$$

که در آنها GP: درصد جوانه‌زنی،  $N_i$ : تعداد بذور جوانه زده در روز  $T_i$  و S: تعداد کل بذور کشت شده، GR: سرعت جوانه‌زنی (تعداد بذور در روز)،  $N_i$ : تعداد بذور جوانه زده در هر روز و  $T_i$ : تعداد روز از شروع آزمایش تا شمارش نام است. پس از بررسی نرمال بودن توزیع داده‌ها با استفاده از روش اندرسون-دارلینگ<sup>۱</sup>، تجزیه واریانس با استفاده از نرم‌افزار SAS ver 9.1 انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. جهت تعیین دماهای کاردینال (پایه، مطلوب و بیشینه) از مدل‌های رگرسیون غیر خطی بین سرعت جوانه‌زنی و دماهای مختلف استفاده شد که در آنها دما به عنوان متغیر مستقل (محور X) و سرعت جوانه زنی به عنوان متغیر وابسته (محور Y) در نظر گرفته شده بود (Jame and Cutforth, 2004).

۱- مدل دو تکه‌ای (خطوط متقاطع) با استفاده از معادله ۳ برازش داده شد.

$$f = \text{if}(T < T_0, \text{region 1}(T), \text{region 2}(T)) \quad \text{معادله (۳)}$$

$$\text{Region 1}(T) = b(T - T_b)$$

$$\text{Region 2}(T) = c(T_m - T)$$

۲- مدل دندان مانند با استفاده از معادله ۴ برازش داده

شد.

<sup>1</sup> Anderson-Darling

<sup>2</sup> Quadratic Polynomial Model

نتایج و بحث

آزمایش اول

نتایج تجزیه واریانس صفات مورد بررسی نشان داد که تفاوت معنی‌داری در سطح ۱ درصد بین دماهای مختلف وجود داشت (جدول ۱). بالاترین درصد جوانه‌زنی در ۳۰ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد نداشت (جدول ۲). در دماهای پایین (۲، ۵ و ۱۰ درجه سانتی‌گراد) هیچ بذری جوانه نزد که به علت کاهش متابولیسم در دمای کم می‌باشد (Tolyat et al., 2014). در دماهای بالا (۴۵) درجه سانتی‌گراد نیز جوانه‌زنی متوقف شد. در دماهای بالا به علت افزایش تنفس و کاهش ذخیره بذر و یا برخی تغییرات مخرب در پروتئین‌های ضروری، جوانه‌زنی کاهش یافته و یا متوقف می‌شود (Azimi et al., 2014). طول ریشه‌چه با افزایش دما تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد افزایش و پس از آن کاهش یافت. کمترین طول ریشه‌چه در ۴۰ درجه سانتی‌گراد به میزان ۰/۱۲۵ سانتی‌متر مشاهده شد. مطلوب‌ترین دما برای رشد ریشه‌چه ۳۰ درجه سانتی‌گراد بود که تفاوت معنی‌داری با ۲۵ درجه سانتی‌گراد نداشت. روند افزایش طول ساقه‌چه با افزایش دما شبیه به درصد جوانه‌زنی بود. طول ساقه‌چه از ۱/۵ سانتی‌متر که در دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد تا ۲/۴ سانتی‌متر در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد متغیر بود.

خشکی (x)، a: صفت مورد بررسی،  $X_{50}$ : غلظت پتانسیل اسمزی لازم جهت ۵۰ درصد بازدارندگی و b: شیب کاهش صفت مورد بررسی در اثر تنش خشکی می‌باشد. برای توصیف اثر کاهش پتانسیل آب بر جوانه‌زنی، از مدل هیدروتایم بر مبنای توزیع نرمال استفاده شد (Bradford, 2002; Grundy, 2003). مدل هیدروتایم جوانه‌زنی را در پاسخ به پتانسیل آب با استفاده از مدل (۸) توصیف می‌کند.

$$\theta_H = (\Psi - \Psi_{b(g)}) \times tg \quad \text{معادله (۸)}$$

که در آن  $\theta_H$ : ضریب هیدروتایم بر حسب مگاپاسکال ساعت،  $\Psi$ : پتانسیل آب پایه بر حسب مگاپاسکال،  $\Psi_{b(g)}$ : پتانسیل آب پایه برای صدک g جوانه‌زنی بر حسب مگاپاسکال،  $t_g$ : زمان جوانه‌زنی درصد از بذور بر حسب ساعت را نشان می‌دهند. در این مدل فرض بر این است که  $\Psi_b$  در یک جمعیت بذری متفاوت بوده و از یک توزیع نرمال با میانگین  $\Psi_{b(50)}$ ، انحراف معیار  $\sigma\Psi_b$  و ضریب  $\theta_H$  پیروی می‌کند (Bradford, 1990). با توجه به فرضیات ذکر شده منحنی جوانه‌زنی در مقابل زمان به صورت معادله (۹) استفاده می‌شود:

$$\text{Probit}(g) = (\Psi - /tg) - \Psi_{b(50)} / \sigma\Psi_b \quad \text{معادله (۹)}$$

جدول ۱- میانگین مربعات مولفه‌های جوانه‌زنی فریون خوابیده در واکنش به دما

Table 1- Mean squares of germination characteristics of *E. maculata* in response to temperature

S.O.V	درجه آزادی Degree of freedom	Mean of squares					
		درصد جوانه‌زنی Germination percentage	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	طول ریشه‌چه Radicle length	طول ساقه‌چه Hypocotyl length	طول گیاهچه Seedling length	وزن تر گیاهچه Seedling fresh weight
تیمار Treatment	9	0.7526**	0.0238**	0.00649**	0.00151**	0.112**	0.3088**
خطا Error	30	0.0044	0.0002	0.00029	0.000121	0.0005	0.01478
C.V	-	4.81	1.45	1.66	1.08	2.22	0.003

\*\* Significant at 1%

\*\* معنی دار در سطح احتمال ۱٪

جدول ۲- مقایسه میانگین مولفه‌های جوانه‌زنی فرفیون خوابیده در واکنش به دما

Table 2- Mean comparison of germination characteristics of *E. maculata* in response to temperature

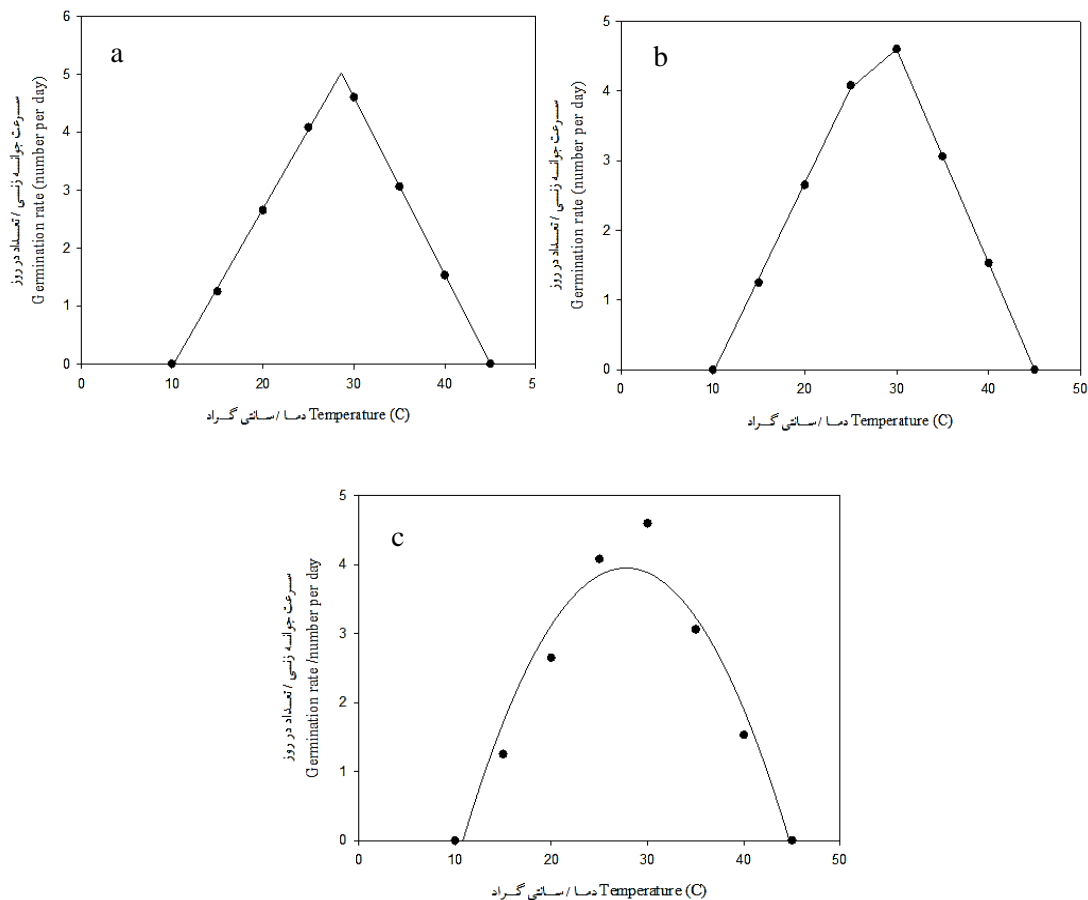
دما (سانتی‌گراد) Temperature (°C)	میانگین‌ها				
	درصد جوانه‌زنی Germination percentage	طول ریشه‌چه (سانتی‌متر) Radicle length (cm)	طول ساقه‌چه (سانتی‌متر) Hypocotyl length (cm)	طول گیاهچه (سانتی‌متر) Seedling length (cm)	وزن تر گیاهچه (میلی‌گرم) Seedling fresh weight (mg)
2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
15	8.000	1.500	0.625	2.125	2.300
20	55.000	1.600	0.725	2.325	3.040
25	82.000	1.970	0.900	2.875	3.810
30	91.000	2.400	1.350	3.750	5.430
35	43.000	2.000	0.575	2.575	3.260
40	3.000	0.000	0.125	0.125	1.600
45	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
LSD	13.91	0.924	0.545	1.534	1.7

افزایش بیشتر دما تا رسیدن به دمای بهینه زیرین سرعت نسبی نمو ثابت است. افزایش دما در فراتر از این حد مجدداً باعث کاهش سرعت نسبی نمو می‌گردد و سرانجام در دمای بیشینه سرعت نسبی نمو مجدداً به صفر می‌رسد و در دماهای بالاتر نیز صفر خواهد بود (Soltani *et al.*, 2006). دماهای پایه، بهینه و بیشینه جوانه‌زنی فرفیون خوابیده به ترتیب ۹/۸۰، ۲۸/۳۳ و ۴۳/۱۶ درجه سانتی‌گراد با استفاده از مدل خطوط متقاطع تخمین زده شد. انعقاد پروتین و اختلال در کار غشاها از جمله عواملی هستند که باعث کاهش سرعت جوانه‌زنی بذرها در دماهای بالاتر از دمای مطلوب می‌شوند (Balbaki *et al.*, 1999). تیگرسون و همکاران (Thygerson *et al.*, 2002) نیز کاهش کارایی متابولیکی بذرها را از دیگر عوامل کاهش سرعت جوانه‌زنی در دماهای بالاتر از دمای مطلوب گزارش کردند.

رابطه سرعت جوانه‌زنی و دما توسط مدل دندان مانند در شکل ۱b نشان داده شده است.

بین دماهای ۳۰ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد از لحاظ طول ساقه‌چه تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. افزایش دما اثر مثبتی بر طول گیاهچه داشت به گونه‌ای که مطلوب‌ترین دما برای رشد آن ۳۰ درجه سانتی‌گراد بود و پس از آن با کاهش روبرو شد. وزن تر گیاهچه نیز به صورت معنی‌داری بین دماهای مختلف متفاوت بود. بالاترین وزن تر گیاهچه در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری با کلیه دماها داشت.

شکل ۱a رابطه سرعت جوانه‌زنی و دما را توسط مدل خطوط متقاطع نشان می‌دهد. در مدل خطوط متقاطع تغییرات سرعت نسبی نمو به طور جداگانه برای دماهای کمتر و بیشتر از دمای بهینه ترسیم می‌شود. دمای بهینه از محل تقاطع دو خط رگرسیونی محاسبه شده و دمای پایه و بیشینه به ترتیب عرض از مبداء خط رگرسیونی در دماهای کمتر و بیشتر از دمای بهینه می‌باشند (Phartyal *et al.*, 2003). بر اساس این مدل سرعت نسبی نمو در یک دما و کمتر از آن صفر می‌باشد. با افزایش دما از این مقدار سرعت نسبی نمو افزایش می‌یابد و در دمای بهینه زیرین به بیشینه می‌رسد. با



شکل ۱- تاثیر دماهای مختلف بر سرعت جوانه‌زنی فرفیون خوابیده بر اساس برآزش سه مدل خطوط متقاطع، دندان مانند و چندجمله‌ای درجه دوم

Fig. 1- Predicted (lines) germination rate of *E. maculata* at different constant temperatures using by Intersected-line, Dent-like and Quadratic polynomial models

سرعت جوانه‌زنی و دما توسط مدل چند جمله‌ای درجه ۲ را نشان می‌دهد. طبق این مدل دماهای ۱۰/۲۵، ۲۸/۱۲ و ۳۴/۱۴ درجه سانتی‌گراد به ترتیب به عنوان دماهای پایه، بهینه و بیشینه جوانه‌زنی فرفیون خوابیده تخمین زده شدند. جهت تعیین بهترین مدل از دو شاخص جذر میانگین مربعات خطا و ضریب تبیین استفاده می‌شود. همان‌طور که همان‌طور که جدول ۳ نشان می‌دهد جذر میانگین مربعات خطا در مدل‌های خطوط متقاطع، دندان مانند و چند جمله‌ای درجه ۲ به ترتیب ۰/۰۴۷، ۰/۰۶۶۵ و ۰/۵۱ به دست آمد. ضریب تبیین نیز در مدل‌های خطوط متقاطع و دندان مانند، ۰/۹۹ و در مدل چند جمله‌ای درجه ۲، ۰/۹۱ بود. بدین ترتیب بهترین مدل جهت برآورد دماهای

طبق این مدل دماهای پایه، بهینه و بیشینه جوانه‌زنی فرفیون خوابیده به ترتیب ۱۰/۱۰، ۳۰/۰۵ و ۴۴/۴۸ درجه سانتی‌گراد تخمین زده شد. سلطانی و همکاران (Soltani *et al.*, 2006) از مدل‌های بتا، خطوط متقاطع و دندان مانند برای مدل‌سازی سبز شدن گیاه نخود (*L. Cicer arietinum.*) در دماها و عمق‌های متفاوت استفاده کردند و مدل دندان مانند را به عنوان مدل برتر در پیش‌بینی سبز شدن این گیاه معرفی کردند. برخی محققان مدل‌های دندان مانند را برای پیش‌بینی جوانه‌زنی ازمک (*Cardaria draba L.*)، جو دره (*Hordeum spontaneum Koch.*) و جوموشی (*H. murinum L.*) مناسب دانسته‌اند (Hoseini *et al.*, 2012). شکل ۱c رابطه

کردند. کازرونی منفرد و همکاران نیز (Kazeruni Monfared *et al.*, 2012) از مدل خطوط متقاطع برای تخمین دماهای کاردینال علف هرز تاج ریزی (*Solanum nigrum*) استفاده کردند.

کاردینال جوانه زنی فریون خوابیده مدل خطوط متقاطع می باشد. کامکار و همکاران (Kamkar *et al.*, 2011) در مطالعه گیاه خشخاش (*Papaver somniferum* L.) با استفاده از مدل های رگرسیون غیر خطی مدل دو تکه ای را به عنوان مدل برتر در پیش بینی سرعت جوانه زنی معرفی

جدول ۳- دماهای کاردینال جوانه زنی فریون خوابیده بر اساس سه مدل رگرسیون غیر خطی

Table3-Cardinal temperature of *E. maculata* based on three non-linear regression models

دما (سانتی گراد) Temperature (°C)	مدل Model		
	مدل خطوط متقاطع Intersected-lines Model	مدل دندان مانند Dent-like Model	چند جمله ای درجه ۲ Quadratic Polynomial Model
پایه Base	9.80	10.1	10.25
مطلوب Optimum	28.33	30.05	28.12
بیشینه Maximum	43.16	44.48	43.14
ضریب تبیین R <sup>2</sup> adjusted	0.99	0.99	0.91
جذر میانگین مربعات خطا RMSE	0.047	0.066	0.51

در ادامه مدل هیدروتایم بر مبنای توزیع نرمال به داده های درصد جوانه زنی فریون خوابیده در پتانسیل های ۰، ۰/۲، ۰/۴، ۰/۶، ۰/۸ و در دمای بهینه ۲۸ درجه سانتی گراد برآزش داده شد (شکل ۳).

بر اساس مدل هیدروتایم نرمال، ثابت هیدروتایم، پتانسیل آب پایه (آستانه پتانسیل آب برای شروع جوانه زنی) بذر فریون خوابیده در دمای ۲۸ درجه سانتی گراد به ترتیب ۲۹۱/۳۲ مگاپاسکال ساعت و ۱/۲۰- مگاپاسکال بود. جذر میانگین مربعات خطا و ضریب تبیین این مدل به ترتیب ۰/۰۵۲ و ۰/۹۴ برآورد شد. با استفاده از مدل هیدروتایم پاسخ جوانه زنی ۳ گونه گیاهی شاه افسر (*officinalis Melilotus*) چاودار (*Secale cereal*) و گندم (*Triticum aestivum*) به رطوبت کمی شده است که نتایج نشان داد ضرایب هیدروتایم برای این سه گونه به ترتیب ۱۲/۲۵، ۶۸/۹۶ و ۶۱/۷ مگاپاسکال ساعت بود. برای ارزیابی دقیق مدل از

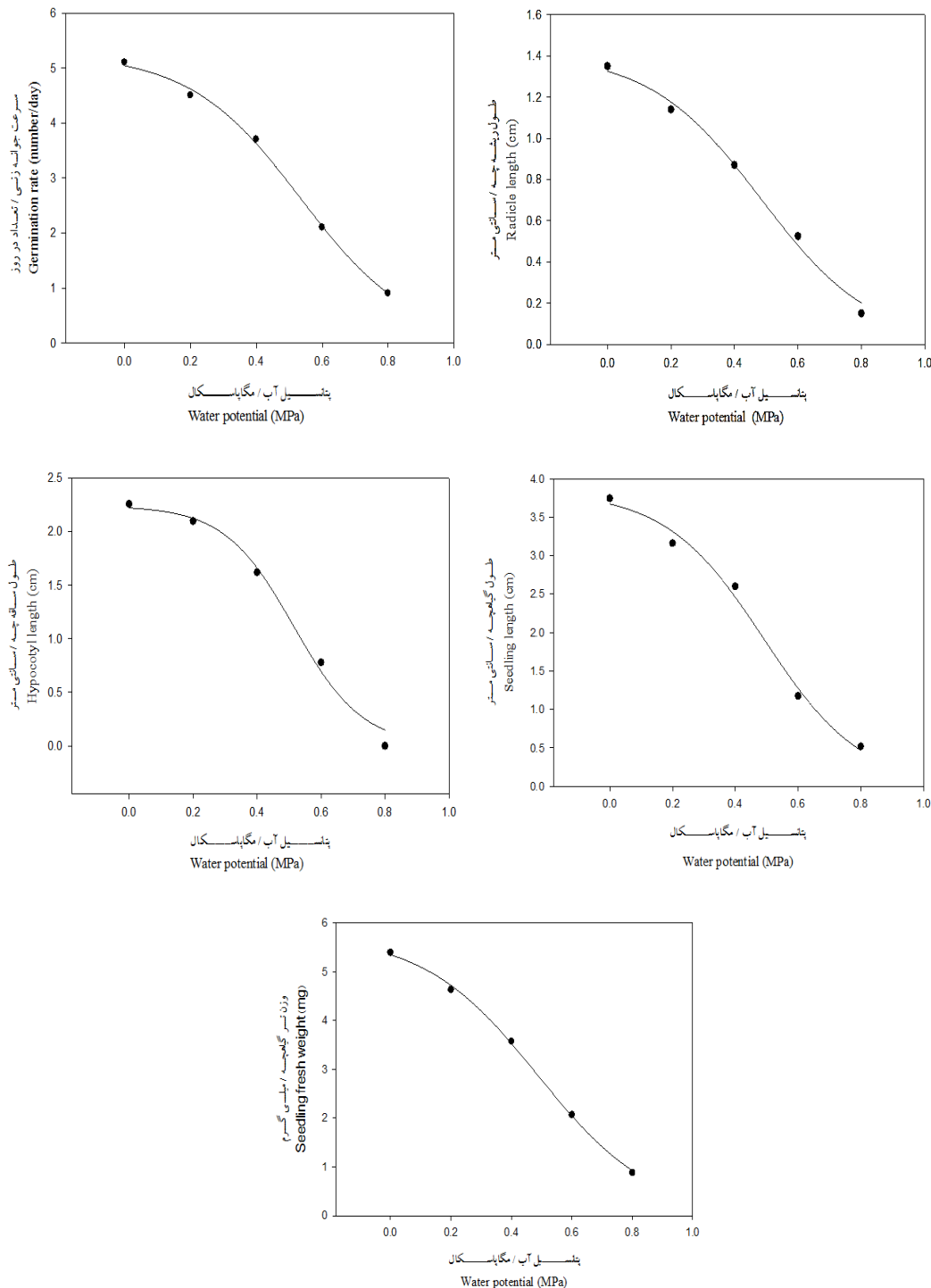
## آزمایش دوم

با افزایش پتانسیل آب (منفی تر شدن) سرعت جوانه زنی، طول ریشه چه، طول ساقه چه، طول گیاهچه و وزن تر گیاهچه کاهش یافت (شکل ۲). کاهش درصد و سرعت جوانه زنی و نیز کاهش طول ریشه چه و ساقه چه در تنش خشکی توسط سایر محققان نیز گزارش شده است (Nezamabadi *et al.*, 2005; Kaya *et al.*, 2006). در جدول ۴ ضریب تبیین، جذر میانگین مربعات خطا و مقادیر X<sub>50</sub> پتانسیلی که در آن ۵۰ درصد بازدارندگی در صفت مورد بررسی اتفاق می افتد آورده شده است. همانطور که در جدول مشخص است مدل سیگموئیدی سه پارامتره برآزش مناسبی به داده های کلیه صفات مورد بررسی داشته است. مقادیر X<sub>50</sub> در صفات سرعت جوانه زنی، طول ریشه چه، طول ساقه چه، طول گیاهچه و وزن تر گیاهچه به ترتیب ۰/۵۳، ۰/۴۸، ۰/۵۱، ۰/۴۹- و ۰/۴۸- مگاپاسکال برآورد شد.



جوانه‌زنی واقعی در مقابل کسر جوانه‌زنی پیش‌بینی شده نشان داد که مدل هیدروتایم مبتنی بر توزیع نرمال از برازش مناسبی به داده‌های جوانه‌زنی فرقیون خوابیده برخوردار بوده است (شکل ۴).

نمودار کسر جوانه‌زنی واقعی در مقابل کسر جوانه‌زنی پیش‌بینی شده استفاده شد (Alimaghani and Ghaderi-Far, 2014). ضریب تبیین به دست آمده (۰/۹۴) با برازش مدل ساده خطی به داده‌های کسر



شکل ۲- برازش مدل رگرسیونی سیگموئیدی به مولفه‌های جوانه‌زنی فرقیون خوابیده در واکنش به پتانسیل آب

Fig. 2- Sigmoidal regression model fitted to germination characteristics of *E. maculata* in response to water potential

جدول ۴- پارامترهای مدل رگرسیون سیگموئیدی برازش داده شده به مولفه‌های جوانه‌زنی فرفیون خوابیده در واکنش به پتانسیل آب

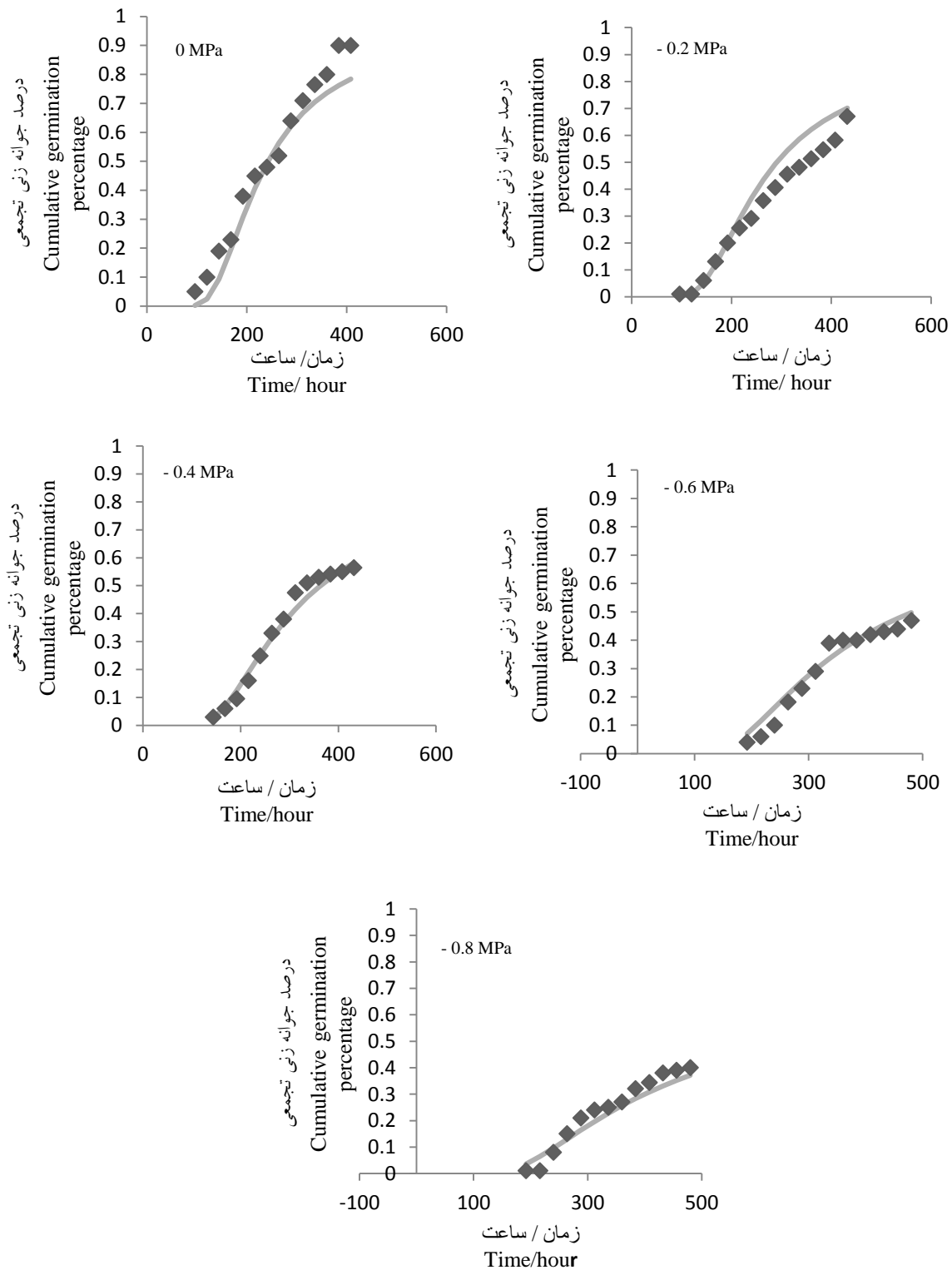
Table 4-Parameters of sigmoidal model fitted to germination characteristics of *E.maculata* in response to water potential

صفات Traits	پارامترهای مدل Parameters of model	مقدار Value	خطا استاندارد Standard error	سطح احتمال Probability level
سرعت جوانه‌زنی (تعداد در روز) Germination rate (num/day)	a	5.17	0.22	<0.0018
	b	-0.16	0.02	0.0141
	X <sub>50</sub>	0.53	0.02	<0.0021
	R <sup>2</sup> adjusted	0.99	-	-
	RMSE	0.15	-	-
طول ریشه‌چه (سانتی‌متر) Radicle length (cm)	a	1.40	0.09	<0.0045
	b	-0.17	0.02	0.0264
	X <sub>50</sub>	0.48	0.03	<0.006
	R <sup>2</sup> adjusted	0.97	-	-
	RMSE	0.05	-	-
طول ساقه‌چه (سانتی‌متر) Hypocotyl length (cm)	a	2.24	0.11	<0.0027
	b	-0.10	0.02	0.0389
	X <sub>50</sub>	0.51	0.02	<0.0028
	R <sup>2</sup> adjusted	0.98	-	-
	RMSE	0.12	-	-
طول گیاهچه (سانتی‌متر) Seedling length (cm)	a	3.83	0.24	0.0042
	b	-0.15	0.03	0.0303
	X <sub>50</sub>	0.49	0.03	0.0051
	R <sup>2</sup> adjusted	0.98	-	-
	RMSE	0.17	-	-
وزن تر گیاهچه (میلی‌گرم) Seedling fresh weight (cm)	a	5.75	0.16	0.008
	b	-0.18	0.01	0.0042
	X <sub>50</sub>	0.48	0.01	0.0011
	R <sup>2</sup> adjusted	0.99	-	-
	RMSE	0.08	-	-

کاردینال جوانه‌زنی فرفیون خوابیده، مدل خطوط متقاطع بود. بر اساس این مدل دماهای کمینه، بهینه و بیشینه جوانه‌زنی این علف‌هرز به ترتیب ۹/۸۰، ۲۸/۳۳ و ۴۳/۱۶ درجه سانتی‌گراد برآورد شد. با افزایش تنش خشکی (منفی تر شدن پتانسیل آب) مولفه‌های جوانه‌زنی فرفیون خوابیده کاهش یافت. مدل هیدروتایم بر مبنای توزیع نرمال، ثابت هیدروتایم و پتانسیل آب پایه بذر فرفیون خوابیده را در دمای ۲۸ درجه سانتی‌گراد به ترتیب ۲۹۱/۳۲ مگاپاسکال ساعت و ۱/۲۰- مگاپاسکال برآورد کرد.

توانایی پیش‌بینی درصد جوانه‌زنی در هر دما و پتانسیل آبی در مدیریت علف‌های هرز کاربردهایی دارد. در مدیریت علف‌های هرز پیش‌بینی زمان سبز شدن گیاهچه در توسعه مدل‌های شبیه‌سازی که مکمل سیستم‌های مدیریت تلفیقی علف‌های هرز<sup>۱</sup> هستند، بسیار حیاتی است. همچنین آگاهی از جوانه‌زنی و سبز شدن علف‌های هرز به پیش‌بینی پتانسیل پراکنش به مکان‌های جدید کمک می‌کند (Ghersa *et al.*, 2000). به طور کلی نتایج آزمایش نشان داد که بهترین مدل جهت برآورد دماهای

<sup>1</sup> Integrated Weed Managment

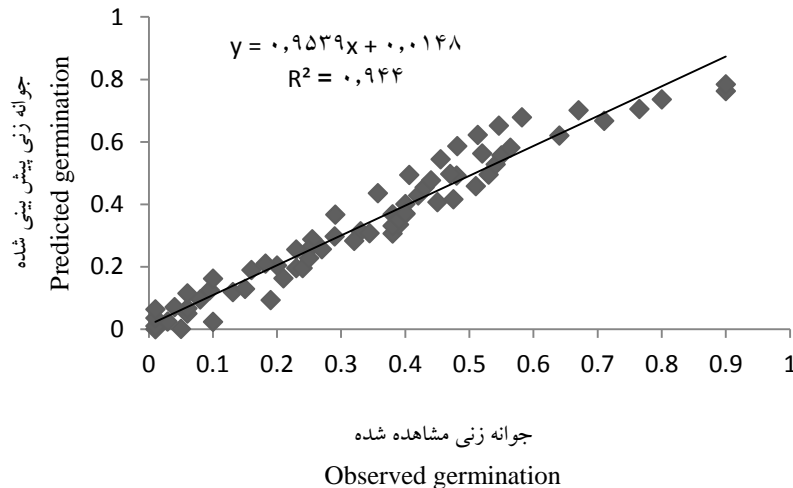


شکل ۳- برازش منحنی هیدروتایم به داده‌های درصد جوانه‌زنی فریون خوابیده بر مبنای توزیع نرمال

Fig 3- The fitted hydro time model to germination data of *E.maculata* based on normal distribution

هرز پتانسیل زیادی برای پراکنش به سایر مناطق از جمله‌ها استان‌های دارای اقلیم خشک‌تر نسبت به گلستان را دارا خواهد بود و اقدامات لازم در جهت جلوگیری از پراکنش آن ضروری می‌باشد.

ضریب هیدروتایم شاخصی از سرعت جوانه‌زنی در سطوح مختلف تنش خشکی می‌باشد و هر چه این ضریب کمتر باشد نشان دهنده بیشتر بودن سرعت جوانه‌زنی می‌باشد (Alimagham and Ghaderifar, 2014; Cardoso and Bianconi, 2013). بدین ترتیب این علف



شکل ۴- رابطه بین کسر جوانه‌زنی پیش‌بینی شده در مقابل جوانه‌زنی واقعی علف هرز فرفیون خوابیده در مدل هیدروتایم بر مبنای توزیع نرمال

Fig 4- Relationship between observed and predicted germination of *E. maculata* in hydro time model based on normal distribution

## Reference

## منابع

- Ansari, A., J. Gherekhloo., F. Ghaderifar., and B. Kamkar. 2017.** Quantification of germination response of *Malva sylvestris* L. to water potential. *Envir. St. Crop Sci.* 10: 67-77. (In Persian, with English Abstract)
- Akram-Ghaderi, F. 2008.** The study of seed quality development, germination, longevity and deterioration in some medicinal plants: medicinal pumpkin (*Cucurbita pepo. Convar. var. styriaca*), cumin blank (*Nigella sativa* L.) and borago (*Borago officinalis* L.). Ph.D. Thesis, Univer of Gorgan. Agric. Sci. Natur. Resour.
- Alam, A., A.S. Juraimi, M.Y. Rafii., A. Abdul Hamid, and F. Aslani. 2014.** Screening of purslane (*Portulaca oleracea* L.) accessions for high salt tolerance. *Sci. World J.* doi: <https://doi.org/10.1155/2014/627916>
- Alimagham, S.M., and F. Ghaderi-Far. 2014.** Hydrotime model: Introduction and application of this model in seed researches. *Environ. Stresses in Crop Sci.* 7: 41-52. (In Persian, with English Abstract)
- Azimi, R., M. Khajeh-Hosseini., and F. Falahpor. 2014.** Evaluation of seed germination features of *Bromus kopetdaghensis* Drobov under different temperature. *J. Range Watershed Manage.* 67(2): 253-261. (In Persian, with English Abstract)
- Balbaki, R.Z., R.A. Zurayk., M.M. Blek., and S.N. Tahouk. 1999.** Germination and seedling development of drought tolerant and susceptible wheat under moisture stress. *Seed Sci. Technol.* 27: 291-302.
- Bewley, J.D., K.J. Bradford, H.W.M Hilhorst, and H. Monogaki. 2013.** *Seeds: Physiology of Development, Germination and Dormancy.* Third Edition, Springer, NY, 392.
- Bradford, K.J. 2002.** Application of hydrothermal time to quantifying and modeling seed germination and dormancy. *Weed Sci.* 50: 248-260.

- Bradford, K.J. 1990.** A water relation analysis of seed germination rates. *Plant Physiol.* 94: 840-849.
- Cardoso, V.J.M., and A. Bianconi. 2013.** Hydrotime model can describe the response of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seeds to temperature and reduced water potential. *Acta Scientiarum.* 35: 255-261.
- Chachalis D., and K.N. Reddy. 2000.** Factors affecting *Campsis radicans* Seed germination and seedling emergence. *Weed Sci.* 48: 212-216.
- Chauhan B., S.G. Gill., and C. Preston. 2006.** Factors affecting seed germination of annual sowthistle (*Sonchus oleraceus*) in southern Australia. *Weed Sci.* 54: 854-860.
- Daws M.I., L.M. Crabtree., J.W. Dalling., C.E. Mullins., and D.R.P. Burslem. 2008.** Germination responses to water potential in neotropical pioneers suggest large-seeded species take more risks. *Ann. Bot.* 102 (6): 945-951.
- Derakhshan, A., Moradi Talavat., M.R. and A.Siadat. 2016.** Hydrotime Analysis of Yellow Sweetclover (*Melilotus officinalis* (L.) Lam.), Wild Mustard (*Sinapis arvensis* L.) and Barley (*Hordeum vulgare* L.) Seed Germination. *Journal of Plant Protection.* 30: 518-523. (In Persian, with English Abstract)
- Dorri, M.A., B. Kamkar., M. Aghdasi., and E. Komshi-Kamar. 2014.** Determine the best model to evaluate the germination characteristics and cardinal temperatures of milk thistle. *Iranian Journal of Seed Science and Technology.* 3: 189-200. (In Persian, with English Abstract)
- Forcella, F., Benech-Arnold, R.A. Sanchez., and C.M. Ghera. 2000.** Modelling seeding emergence. *Field Crops Res.* 67:123-139.
- Ghera, C., R. Benech-Arnold., E. Satorre., M. Martinez-Ghera. 2000.** Advances in weed management strategies. *Field Crops Res.* 67: 95-104.
- Grundy, A.C. 2003.** Predicting weed emergence: a review of approaches and future challenges. *Weed Res.* 43: 1-11.
- Hardegree, S., 2006.** Predicting germination response to temperature. I. Cardinal temperature models and subpopulationspecific regression. *Ann. Bot.* 97: 1115- 1125.
- Hoseini, M., M. Mojab., and Gh. Zamani. 2012.** Evaluation wild barley (*Hordeum spontaneum* Koch.) barley grass (*H.murinum* L.) and hoary cress (*Cardaria draba* L.) germination in different temperatures. p. 108. In proceeding 4<sup>th</sup> Iranian Weed Sci. Congr., 6-7 February, 2004. Ahvaz, Iran.
- Huarte, R. 2006.** Hydrotime analysis of the effect of fluctuating temperatures on seed germination in several non-cultivated species. *Seed Sci.Technol.* 34: 533-547.
- Jame, Y.W., and H.W. Cutforth. 2004.** Simulating the effects of temperature and seeding depth on germination and emergence of spring wheat. *Agric. Forest Meteorol.* 124: 207-218.
- Jeffrey, D.W., C.M. Timothym., and T.R. John. 1987.** Solution volume and seed number: Often overlooked factors in allelopathic bioassays. *J. Chem. Ecol.* 13: 1424-1426.
- Kamkar, B., M. Jami Al-Ahmadi., and A. Mahdavi-Damghani. 2011.** Quantification of the cardinal temperatures and thermal time requirement of opium poppy (*Papaver somniferum* L.) seeds germinate using non-linear regression models. *Indian Crop Prod.* 35: 192-198.
- Kaya M.D., G. Okcu., M. Atak., Y. Cikili., and O. Kolsarici. 2006.** Seed treatment to overcome salt and drought stress during germination in sunflower (*Helianthus annus* L.). *Eur. J. Agro.* 24: 291-295.
- Mennan, H., and M. 2006.** Ngouajio Seasonal cycles in germination and seedling emergence of summer and winter populations of catchweed bedstraw (*Galium aparine*) and wild mustard (*Brassica kaber*). *Weed Sci.* 54: 114-120.
- Nezamabadi, N., H. Rahimian Mashhadi., E. Zand., and H.M. Alizadeh. 2005.** Effect of desiccation, NaCl and polyethylen glycol induced water potentials on sprouting of *Glycyrrhiza glabra* rhizome buds. *Iranian J. Weed Sci.* 1: 41-50.
- Nozari-nejad, M., E. Zeinali., A. Soltani., E. Soltani., and B. Kamkar. 2013.** Quantify wheat germination rate response to temperature and water potential. *Electronic J. Crop Prod.* 6:117-135. (In Persian, with English Abstract)
- Phartyal, S.S., R.C. Thapial., J.S. Nayal., M.M.S. Rawat., and G. Joshi. 2003.** The influence of temperatures on seed germination rate in Himalaya elm (*Ulmus wallichiana*). *Seed Sci. Technol.* 25: 419-426.

- Savarinejad, A.R. 2009.** Evaluation of biology and chemical control of *Euphorbia maculate* in soybean of Golestan province. M.Ss thesis, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehra.
- Schellenberg, M.P., B. Biligetu, and Y. Wei. 2013.** Predicting seed germination of slender wheatgrass [*Elymus trachycaulus* (Link) Gould subsp.*trachycaulus*] using thermal and hydro time models. Can. J. Plant Sci. 93: 793-798.
- Shafii, B., and W.J. Price. 2001.** Estimation of cardinal temperatures in germination data analysis. J. Agric. Biol. Environ. Stat. 6: 356-366.
- Soltani, E., M. Oveisi., A. Soltani., S. Galeshi., F. Ghaderi-Far., and E. Zeinali. 2014.** Seed germination modeling of volunteer canola as affected by temperature and water potential: hydrothermal time model. Weed Res. J. 6: 23-38. (In Persian, with English Abstract)
- Soltani, A., M.J. Robertson., B. Torabi., M. Yousefi-Daz., and R. Sarparast. 2006.** Modeling seedling emergence in chickpea as influenced by temperature and sowing depth. Agric. Forest Meteorol. 138: 156-167.
- Tolyat, M.A., R. Tavakkol Afshari., M. R. Jahansoz., F. Nadjafi., and H.A. Naghdibadi. 2014.** Determination of cardinal germination temperatures of two ecotypes of *Thymus daenensis* subsp. Daenensis. Seed Sci. Technol. 42: 28-35.
- Thygerson, T., J.M. Harris., B.N. Smith., L.D. Hansen., R.L. Pendleton, and D.T. Booth. 2002.** Metabolic response to temperature for six populations of winter fat (*Eurotia lanata*). Thermochemica Acta. 394: 211-217.
- Younesabadi, M., and A.R. Savarinejad. 2009.** Flora of weed in soybean of Golestan province. Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center.